# 第3章 実証実験に見るワイヤレス・センサ・ネットワークの実際

IEEE 802.15.4に準拠した無線モジュールと各種センサを果樹園に設置

**ワイヤレス・センサ・ネットワーク編**

宮本 哲

**本稿では，ワイヤレス・センサ・ネットワークの概要を説明する．ワイヤレス・センサ・ネットワークを用いれば，通信インフラに依存することなくセンサ端末を配置し，そのデータを収集できる．ここでは，具体的なワイヤレス・センサ・ネットワークの導入事例として，果樹園における実証実験を挙げ，システム構成や実験結果の妥当性について述べる．（編集部）**

最近，「ワイヤレス・センサ・ネットワーク」ということばを耳にする機会が増えてきました．しかし，具体的にどのようなもので，どうやって使えるものなのかについては，よくわかっていない人が多いのではないでしょうか．

ここでは，一般的なワイヤレス・センサ・ネットワークの概念について説明します．

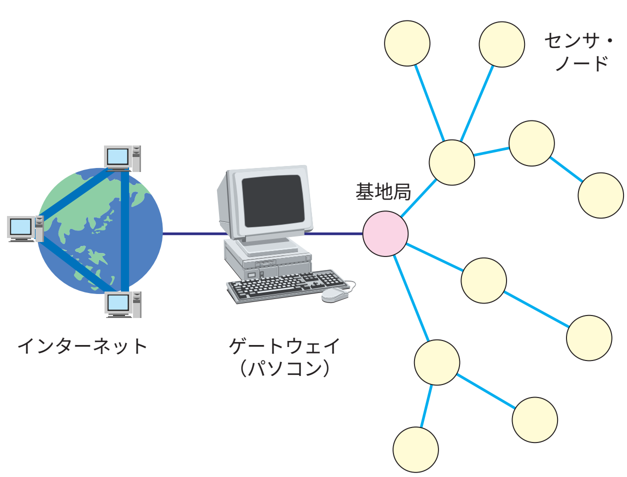



**図1　ワイヤレス・センサ・ネットワークの例**

センサ・ノードで得られたデータは，ワイヤレス・センサ・ネットワークを介して基地局へ送られる．さらに，基地局につながったゲートウェイ（パソコンなど）からインターネットへセンサのデータを送り，遠隔地でそのデータを利用することも可能である．

## 1 無線センサ・ネットで実現できること

ワイヤレス・センサ・ネットワークとは，センシングの対象となる場所に配置された複数のセンサのデータを収集するため，センサ間を無線通信で結んだネットワークを指します．ただし，実際にはネットワークの部分だけでなく，システム全体（バックボーンとなるインターネットまでを含む）を指してワイヤレス・センサ・ネットワークと呼ぶことが多いようです．本稿では後者の意味でワイヤレス・センサ・ネットワークということばを使うこととします．

対象箇所に配置された無線通信機能を持つセンサは，ネットワークのノードとなることから「センサ・ノード」と呼ばれます．一般に，センサ・ノードは電池駆動であるため，ワイヤレス・センサ・ネットワークはインフラに関係なく自由に構築することができるという特徴を持ちます．

ワイヤレス・センサ・ネットワークの情報は基地局へ集められ，基地局につながったパソコンなどで処理されるのが一般的です．さらに，パソコンあるいはネットワーク機能を有する基地局を経由してインターネットやそのほかの既存ネットワークへデータを送ることにより，遠く離れた場所からデータを利用できます（図1）．

### ● “ワイヤレス”を生かして屋外や移動体のデータを収集

従来，工場など，自動化の進んだ場所では，複数のセンサとそれらを有線で結んだシステムが使われてきました．これを無線に置き換えるというのが簡単にイメージできる応用例でしょう．この場合，センサどうしを有線で結ぶための配線にかかるコストを削減するという効果が期待できます．配線のコストが安くなればセンサ・ノードを配置し

やすくなるため，ビルの管理，建造物・機器などの破損や故障の監視など，応用範囲が広がります．

これに加えて，ワイヤレス・センサ・ネットワークはセンサ・ノードを自由に配置できるという特徴を持っているため，これまで自動化しにくかった屋外，あるいはセンシング対象物が移動する環境でも利用できます．例えば，農作物を取り巻く気候の測定や森林の環境監視，野生生物の行動監視といった応用です．ほかにもインフラが寸断された状況下での災害救助活動においても有効です．

### ● インターフェースを気にすることなく機器を利用できる

しかし，ワイヤレス・センサ・ネットワークが大きく期待されているのは，上記のような産業用途のみでなく，身近なところに応用することによって，私たちの生活様式に大きなインパクトを与える可能性があるからです．

例えば，私たちはパソコンや家電製品に対して，欲しい情報を得たり，必要な動作を行わせるためになんらかの操作を行います．インターネットから情報を得たければ必要なサイトを表示させて情報を入手しますし，暑いと感じればリモコンでエアコンの温度の設定を行います．これらの操作は，ユーザが何を望んでいるのかをパソコンやエアコンに知らせる手段として行っていることです．もしこれらの機器にユーザが望むことを，操作することなく知らせることができれば非常に便利です．

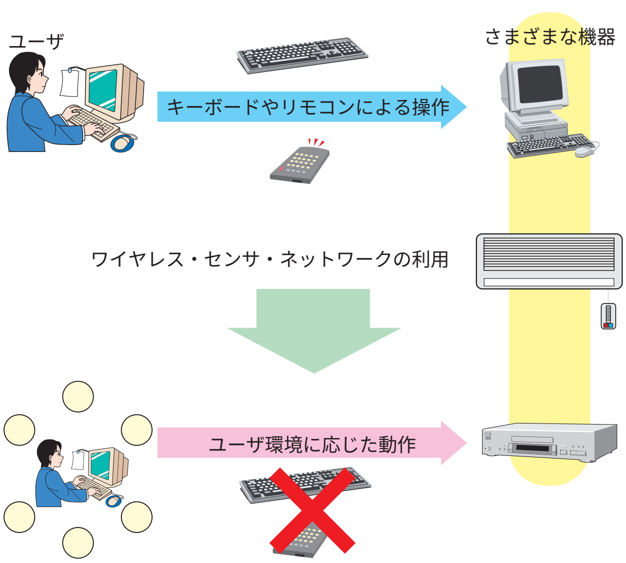



**図2　ユーザ・インターフェースを介さなくても…**
電子機器へユーザの要求を伝える場合，従来はキーボードやリモコンなどを用いていた．ワイヤレス・センサ・ネットワークを用いることで，人手を介さずユーザを取り巻く環境を機器へ伝え，それに応じた動作をさせることが可能となる．

これを実現するために，ワイヤレス・センサ・ネットワークの応用が考えられます．いろいろなセンサ・ノードをユーザの周りに配置し，センサのデータを機器に伝えれば，そのデータに応じてユーザの望みに合った動作が自動的に行われるのです（図2）．

## 2 無線センサ・ネットの構成

次に，具体的なワイヤレス・センサ・ネットワークの構成について説明します．

センサ・ノードは，センサとデータを送受信するための無線通信モジュール，それらを制御するためのマイクロプロセッサ，電池などの電源からなります（図3）．もちろん，マイクロプロセッサ上で実行されるプログラムを書き込むためのフラッシュ・メモリや，プログラムが利用するRAMも備えています．昨今のワイヤレス・センサ・ネットワークの発展は，マイクロプロセッサ，無線通信モジュール，センサの小型化・低消費電力化に負うところが大きいといえます．

ワイヤレス・センサ・ネットワークはインフラに依存せずに自由に配置された（場合によっては移動も可能な）センサ・ノードを結ぶことを想定しています．新しいセンサ・ノードが追加される場合もありますし，逆に故障などで消失する場合もあります．また，低消費電力を実現するため，無線通信の伝送距離も短い場合が多いと考えられます．

これらの条件を満たすために，次の二つの特徴を備えたプロトコルが用いられます．

- **アドホック・ネットワーク**――アクセス・ポイントなどの特別なインフラを必要とせず，ノードどうしが直接通

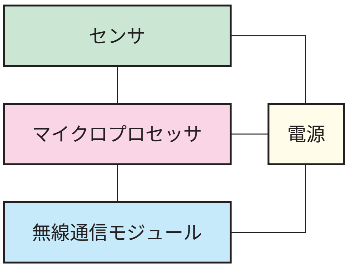



**図3　ワイヤレス・センサ・ネットワークにおけるセンサ・ノードの構成**
センサ・ノードは，センサ，無線通信モジュール，およびそれらを制御するためのマイクロプロセッサから構成される．インフラに依存しないために電池などの独立した電源を持つ．

3

信を行うネットワーク(**図4**)．あるセンサ・ノードはその近くにある(通信可能な)任意のセンサ・ノードとつながり，自発的にネットワークを組み上げていくことができる

● **マルチホップ・ネットワーク**――センサ・ノードAからセンサ・ノードBへデータを送信する際，例えばAとBが距離などの問題によって直接通信できない場合，別のセンサ・ノードCにデータを中継させるようなネットワーク(**図5**)．これによって，広く配置されていて，互いに直接通信できないセンサ・ノードどうしでもデータを送受信できるようになる．複数の経路を選択できるため，センサ・ノードの消失にも対応可能

ネットワーク・トポロジとしては，メッシュ型がもっとも堅ろうなネットワークを構築できますが，用途によってはスター型やハイブリッド・スター(クラスタ・ツリー)型も使われます(**図6**)．このようなアドホック・マルチホップ・ネットワークにおいては経路制御が非常に重要であり，さまざまな方式が考案されています(経路制御の詳細は，本特集第4章で説明する)．

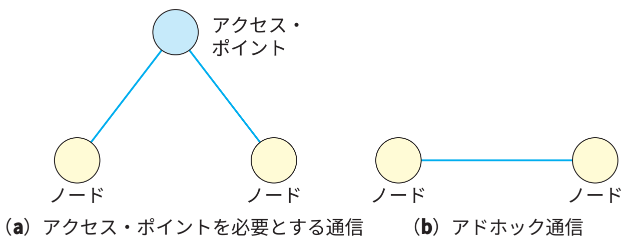



**図4　アドホック・ネットワーク**
(a)は，アクセス・ポイントを介してそれぞれのノードが通信を行う．一方，(b)はアクセス・ポイントを必要とせず，それぞれのノードが直接通信を行う．このように，直接通信し合うノードで構成されたネットワークをアドホック・ネットワークと呼ぶ．

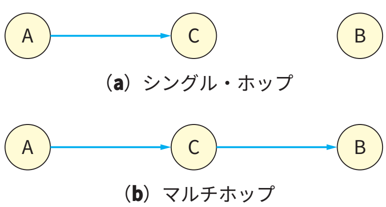



**図5　シングル・ホップとマルチホップ**
(a)ではノードAからノードCへデータは送信されるだけであり，ノードAのデータはノードBへは送られない．一方，(b)ではノードCはノードAから受信したデータをノードBへと中継して送信する．これをマルチホップと呼ぶ．

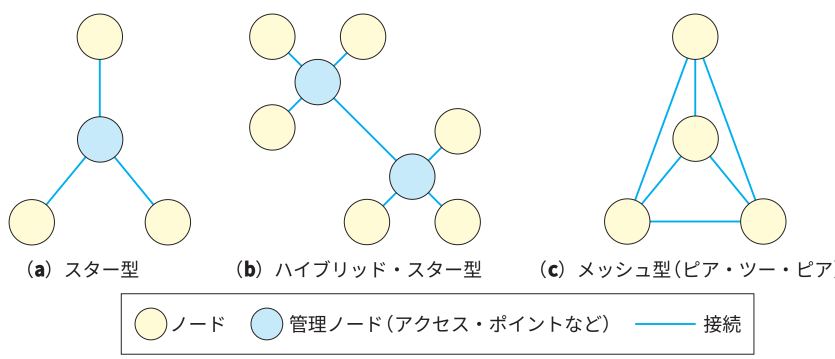



**図6　ネットワーク・トポロジ**
(a)のスター型は，管理ノードを中心に複数のノードがつながっている．(b)のハイブリッド・スター型は，スター型のネットワークの管理ノードどうしをつないだものである．(c)のメッシュ型は，管理ノードを設けず，各ノードがそれぞれつながっている．

## Column　ワイヤレス・センサ・ネットワーク構築に必要な技術と知識

「ほんとうに使えるワイヤレス・センサ・ネットワーク」というのは，アプリケーションまで含めて多くの課題を解決しなければ構築できません．以下に，ワイヤレス・センサ・ネットワークを構築するために必要な技術や知識を挙げておきます．

● **ソフトウェア**――センサ・ノード上のソフトウェアの開発だけでなく，パソコンなどゲートウェイ側のソフトウェアの開発も必要となる
● **ハードウェア**――既存のセンサ・ボードに搭載されていないセンサが必要な場合，センサ・ノード用にカスタムのセンサを搭載しなければならない
● **センシング**――必要な情報を得るためにどのようなセンサを用い，そのセンサのデータをどのようにサンプリングして使うのかということは，ワイヤレス・センサ・ネットワーク構築の最初のステップと言える
● **ネットワーク**――無線通信の特性を熟知し，それに最適なネットワークを選択あるいは開発していく技術が必要となる
● **筐体パッケージング**――センサ・ノードを配置する環境に応じて，適切なパッケージングが必要となる．とくに屋外で利用する場合は，防水対策が必須となる
● **適用するシステムに関する知識**――言うまでもないが，ワイヤレス・センサ・ネットワークを適用しようとしているシステムそのものを熟知していなければならない
● **電源の管理**――長時間(例えば年単位)での使用を前提とするため，アプリケーションが求める電力サイクルに適した放電効率の電池の選択が求められる

### ● 果樹園で実際に無線センサ・ネットを稼働させる

ワイヤレス・センサ・ネットワークの応用例は先に述べましたが，ここでは果樹園における実証実験を紹介します．

2005年6月に，筆者らは鳥取県の梨園にセンサを取り付けて，ワイヤレス・センサ・ネットワークを使って温度や光，加速度といった各種データを収集しました(写真1)．

図7に，そのときのシステム構成図を示します．センサ・ノードとしては米国Crossbow Technology社のセンサ・ボード「MTS310/300」と無線通信モジュール「MPR2400 (MICAz)」を組み合わせたものを用いました(写真2)．MTS310/300は，光センサ，温度センサ，2軸加速度センサ，2軸磁気センサなどの基本的なセンサとマイクが搭載さ



(a) 設置されたセンサ・ノード　(b) 設置されたセンサ・ノード(ガーデン・ランプ)

**写真1 梨園の実証実験**

(a)は，防水加工を施したセンサ・ノード(米国Crossbow Technology社のMOTE)をバンダナでくるみ，ゴムひもを付けてつるしたもの．(b)は，センサ・ノードをガーデン・ランプの中に入れてつるした．これは，ガーデン・ランプの防水機構と電池をそのままセンサ・ボードに利用できるかどうかを検討するために行った．

3

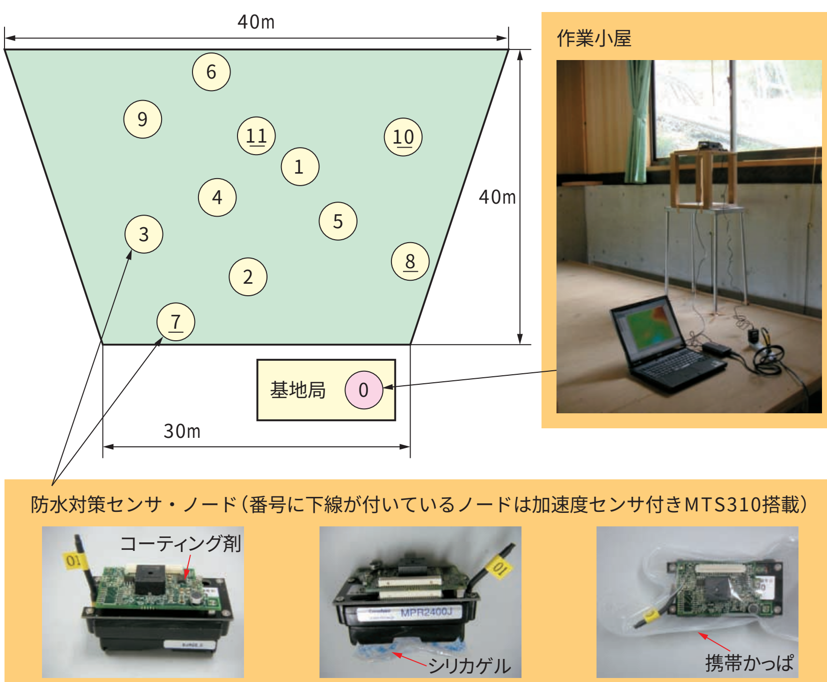
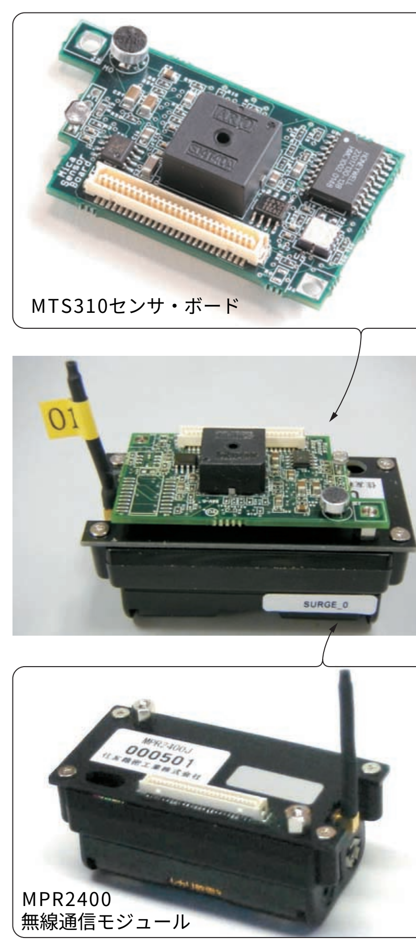



**図7 梨園実証実験システム**

約40m四方の梨園に防水対策を施したセンサ・ノードを配置した．基地局とパソコンは作業小屋内に設置した．




**▶ 写真2 実証実験に用いたセンサ・ノード**

通常，センサ・ノード用の無線モジュール(MPR2400など)はセンサを備えていないので，かならずなんらかのセンサ・ボード(MTS310やMTS300など)を組み合わせて用いる．

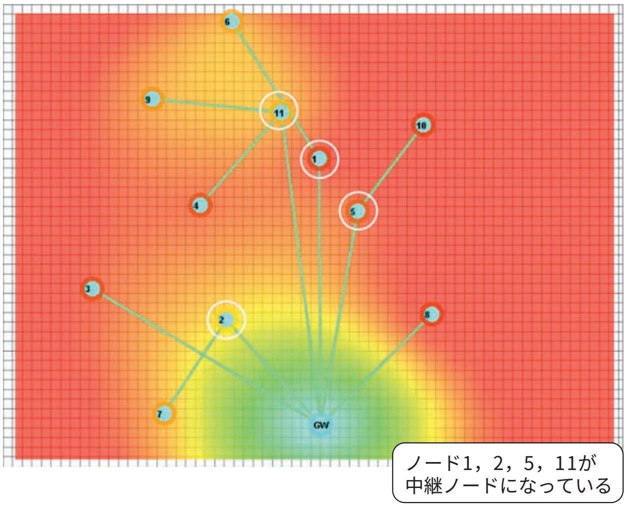


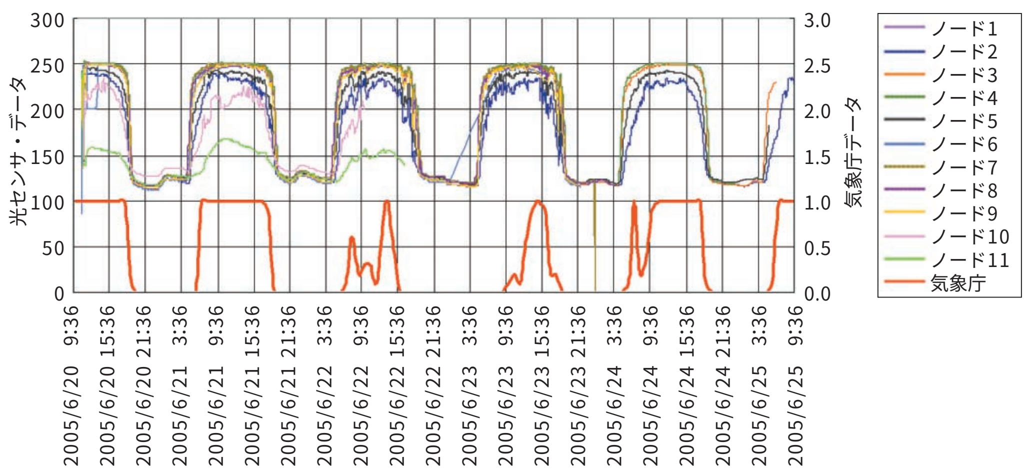

**図8　梨園に配置されたセンサ・ノードのトポロジ**

梨園に配置され，ネットワークを構築したセンサ・ノードのトポロジをセンサ・データのモニタリング・ツール「MoteView」で表示させたもの．ノード1，2，5，11（白い円で囲まれているノード）が中継ノードとなって，マルチホップしていることがわかる．

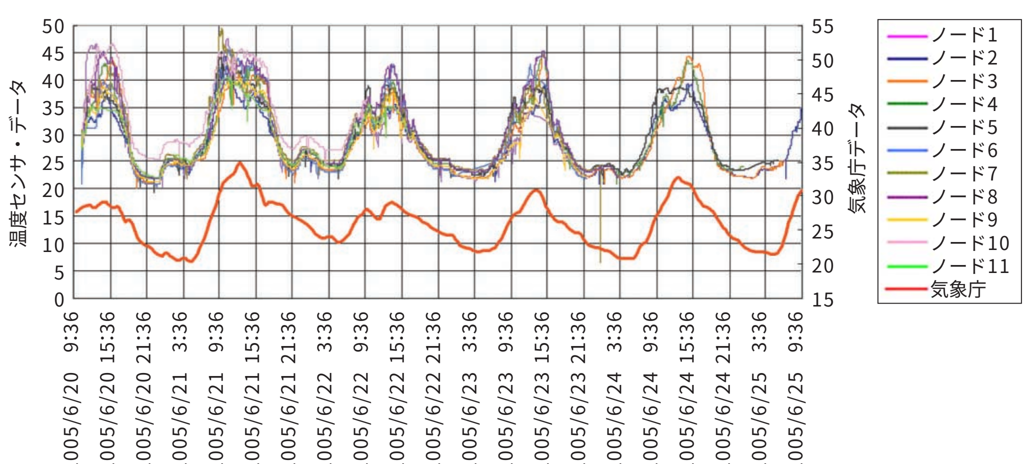
れたセンサ・ボードです（ただし，MTS300には加速度センサ，磁気センサが搭載されていない）．MPR2400は，IEEE 802.15.4に準拠した2.4GHz帯の無線通信方式を使う無線モジュールです．MTS310/300を用いた理由は，光や温度といった環境の測定に必要なセンサが搭載されているからです．また，加速度センサは風の強さを測定するために使いました．MPR2400については，ほかの無線モジュール（315MHz微弱電波を使うもの）よりも伝達距離が長いことから，今回の用途に合うと考えました．

センサ・ノード上では，センサ・データの取得とメッシュ・ネットワーク経由でセンサのデータを基地局へ送信するソフトウェア（同社のSurge_Reliable）をもとに，消費電力を下げるためにセンシング間隔を長くしたものを動作させました．

**図8**は，梨園内でのセンサ・ノードのネットワーク・ト




（a）梨園日照時間




（b）梨園温度データ

**図9
梨園における測定結果**

梨園における測定結果のうち，光センサと温度センサのデータをグラフ化したもの．比較のために気象庁が発表したデータも加えた．気象庁のデータとほぼ同じ結果が得られていることがわかる．

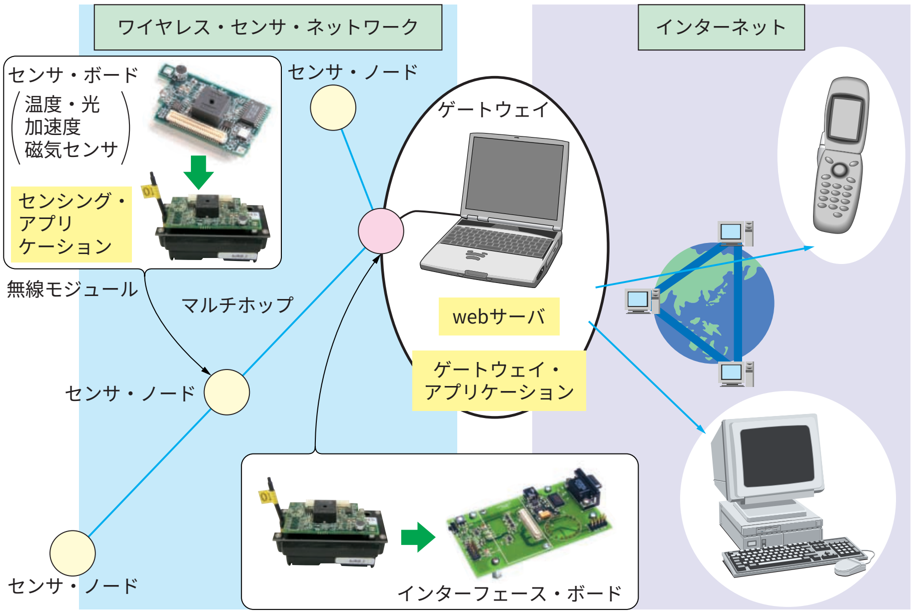



**図10**
**通報システムの構成**
センサ・ノードで異常なデータを検出した時点で，異常検出パケットとそれに続く一定時間のセンサ・データが基地局へ送られる．基地局につながったパソコンでセンサのデータをグラフ化し，Webサーバのデータを更新してメールを送信する．

ポロジです．いくつかのセンサ・ノードは直接基地局につながらずに，ほかのセンサ・ノード経由でセンサ・データを送信するマルチホップになっていることがわかります．

図9に，5日間の各センサ・ノードのセンシング結果を示します．図からわかるように，測定結果は気象庁のデータと一致しています．また，センサの周囲は実際の環境そのままの状態なので，ワイヤレス・センサ・ネットワークを利用して正しく梨園内の環境を測定しているといえます．

作物によっては，日照時間の累計から受粉や収穫時期を正確に決める必要があるものや，霜に対する対策を施さなければならないものがあります．ワイヤレス・センサ・ネットワークを使えば，これらの作業効率を向上させることができるでしょう．

### ● センサと取り付け場所を変えればいろいろと応用がきく

もう一つの例として，自動通報システムについて説明します．図10に示すように，センサ・ノードで異常なデータを検出した時点で，異常検出パケットとそれに続く一定時間のセンサ・データが基地局へ送られます．基地局につながったパソコンでセンサのデータをグラフ化した後，Webサーバ上のデータを更新し，インターネットを経由して通報メールを送信します．

例えば，加速度センサを搭載したセンサ・ノードを郵便受けのふたに取り付け，ふたの開け閉めを検出します．そして，ふたの開け閉めが行われると，携帯電話に通報メールを届けるようにします．これは，一人暮らしのお年寄りが無事に暮らしているかどうかをモニタすることに応用できます（写真3）．また，センサの種類や取り付ける対象物を変えることで，例えば病院で散歩中の患者さんの脈拍の異常をいち早く知ることや，地震検出などにも使えます．

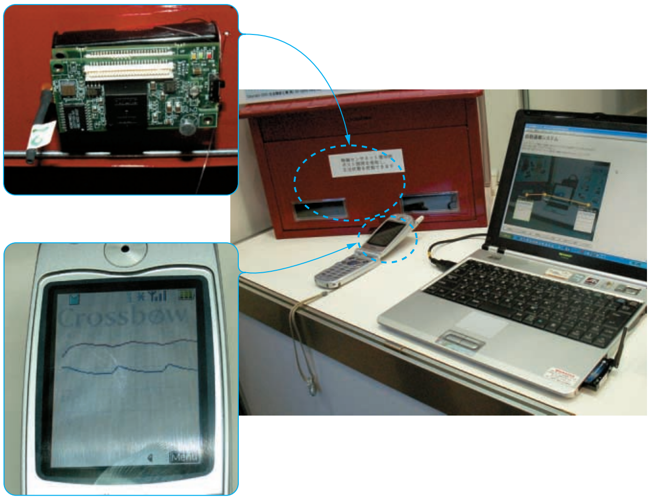



**写真3　通報システムのデモンストレーション**
Wireless Japan 2005で行った自動通報システムのデモンストレーション．郵便受けのふたの裏側にセンサ・ノードを取り付け，ふたの開け閉めが行われると，携帯電話にそれを通報する．

**みやもと・さとる**
**住友精密工業（株）　MEMS事業開発室システム開発グループ**